**Iranian Journal of Field Crops Research**
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

**Research Article**
**Vol. 23, No. 1, Spring 202-185, p. 1-18**

# Effect of Planting Methods and Water Consumption on Quantitative and Qualitative Traits of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)

**F. Mashhadi[1], H. R. Khazaei[1*], M. R. Ramazani Moghaddam[2]**

1- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Crop and Horticultural Science Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
(*- Corresponding author's Email: h.khazaie@um.ac.ir)

Received: 21 June 2023
Revised: 30 August 2023
Accepted: 23 September 2023
Available Online: 02 March 2025

**How to cite this article:**
Mashhadi, F., Khazaei, H.R., & Ramazani Moghaddam, M.R. (2025). Effect of planting methods and water consumption on quantitative and qualitative traits of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research, 23*(1), 1-18. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.71031.1055

## Introduction

Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) is a medicinal plant belonging to the Malvaceae family that has been used as medicine since ancient times. Sepals of roselle are a source of anthocyanin, vitamin C and other antioxidants, such as flavonoids (hibiscetine, gossypetine, and sadderetine). Due to the fact that drought is one of the prominent geographical features of Iran, saving water by cultivating drought-resistant crops can be considered as a solution to deal with drought. However, it should be noted that applying deficit irrigation without careful planning can lead to a reduction in quantitative or even qualitative yield. Therefore, due to the medicinal importance of roselle and its resistance to drought, the aim of this study was to investigate the effect of different irrigation regimes and planting method on some quantitative and qualitative traits of roselle plant.

## Materials and Methods

The experiment was carried out as split plot based on randomized complete blocks design with three replications at the Research Farm of Kashmar Agricultural and Natural Resources Research Station, during two growth seasons 2016 and 2017. Treatments included seven levels of Irrigation ($I_1$: 100% crop water requirement (CWR), $I_2$: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_3$: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, $I_4$: 80% CWR from beginning to end of flowering, $I_5$: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_6$: 60% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, $I_7$: 60% CWR from beginning to end of flowering) and two level of planting method (direct and indirect) as main plots and sub plots, respectively. In the transplanting method, the seeds were sown in the transplant tray on March 10, 2016 and 2017 and transplanted to the farm in four-leaf stage. Direct cultivation was also carried out in April, in 2.5 × 7 meter plots at a depth of 1.5 cm. At the harvest time, two square meters of each plot were harvested to measure number seed and sepal yield, biological yield, and harvest index. In addition, qualitative traits including vitamin C, anthocyanin, total phenol, seed protein and oil were measured. Data from the two field experiments were analyzed with SAS software; obtained averages compared with using Tukey's Studentized Range (HSD) Test at the 5% probability level.

## Results and Discussion

The results showed that the interaction effect between irrigation and planting method was significant on



https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.71031.1055

biological yield, vitamin C, total phenol, seed protein and oil. The highest seed oil (21.25%) was obtained in I1 and transplanting treatment. $I_7$ and direct planting method treatment had the highest total phenol (41.96 mg g dry weight$^{-1}$) and seed protein (31.32%). The maximum biological yield (9064.33 kg ha$^{-1}$) and vitamin C (32.35 mg 100 ml$^{-1}$) were observed in I1 and direct planting method and $I_4$ and direct planting method, respectively. There was no significant difference in any of the irrigation levels between the two planting methods except for the total phenol at two levels of $I_5$ and $I_6$, which its amount was higher in the direct planting method than transplanting. Seed yield, sepal yield, seed harvest index, sepal harvest index, and anthocyanin were only affected by the main effect of irrigation. As the intensity of stress increased, the yield and harvest index decreased and the amount of anthocyanin increased. The highest seed (667.54 kg ha$^{-1}$) and sepal yield (392.73 kg ha$^{-1}$) were obtained in $I_1$ treatment, which had no significant difference with $I_2$ treatment. The lowest seed and sepal yield were also obtained in $I_7$ treatment. According to the harvest index, the only $I_7$ treatment showed a significant difference with other treatments. So that the lowest of seed (7.85%) and sepal harvest index (4.5%) were obtained in this treatment.

## Conclusion

The results of this study revealed that water stress had the negative effect on the sepal, seed, and biological yield and number of fruit per roselle plant in both transplanting and direct sowing methods. However, with increasing drought stress, the plant's quality traits, including vitamin C, anthocyanin, total phenol, and seed protein improved. The extent of drought effect varied depending on the growth stage of the plant; however, there was no significant difference in seed and sepal yield obtained in stress-free and irrigation at 80% water requirement from 8-leaf stage to end of flowering treatments. The most significant impact was observed during the sensitive growth stage of the plant, particularly from early to late flowering, under drought conditions. Additionally, the results indicated that the transplanting method did not significantly enhance the studied traits at various irrigation levels compared to direct cultivation. Based on the climatic conditions of the study area, irrigating at 80% of the water requirement from the eighth leaf stage to late flowering of the roselle plant appears to be a viable strategy for achieving satisfactory quantitative and qualitative performance while conserving water resources.

**Keywords**: Anthocyanin, Drought stress, Transplanting, Vitamin C

**نشریه پژوهشهای زراعی ایران**

Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

**مقاله پژوهشی**

**جلد ۲۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۱۸-۱**

# تأثیر روش کاشت و مصرف آب بر خصوصیات کمّی و کیفی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.)

**فاطمه مشهدی[۱]، حمیدرضا خزاعی[۱*]، محمدرضا رمضانی مقدم[۲]**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸

## چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر روش کاشت و میزان مصرف آب بر ویژگی‌های کمّی و کیفی گیاه چای تـرش، آزمایشـی در ایسـتگاه تحقیقـات کشـاورزی و منابع طبیعی کاشمر در دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجـرا گردید. تیمارهای آزمایش آبیاری در هفت سطح شامل تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی ($I_1$)، ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی ($I_2$)، ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اوایل گل‌دهی ($I_3$)، ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی ($I_4$)، ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخـر گـل‌دهی ($I_5$)، ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اوایل گل‌دهی ($I_6$)، ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی ($I_7$) و روش کاشت در دو سطح (نشـاکاری و کشـت مستقیم) بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل آبیاری و روش کاشت بر عملکرد زیست‌توده، ویتامین ث، فنل کل کاسبرگ، پروتئین و روغن دانه معنی‌دار بود. حداکثر روغن دانه (۲۱/۲۵ درصد) در تیمار $I_1$ و روش کاشت نشایی به‌دست آمد. تیمـار $I_1$ و روش کشـت مسـتقیم، بیشـترین عملکـرد زیسـت‌توده (۹۰۶۴/۳۳ کیلوگرم در هکتار) و تیمار $I_4$ و روش کشت مستقیم، بیشترین میزان ویتامین ث (۳۲/۳۵ میلی‌گـرم در ۱۰۰ میلی‌لیتـر) کاسبرگ را بـه خـود اختصاص دادند. حداکثر فنل کل (۴۱/۹۶ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) و پروتئین (۳۱/۳۲ درصد) نیز در تیمار $I_7$ و روش کشت مستقیم حاصـل شـد. در سطوح آبیاری بین دو روش کشت اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، به‌جز برای فنـل کـل کاسـبرگ و دو سـطح $I_5$ و $I_6$ کـه مقـدار آن در روش کشـت مستقیم بیشتر از نشاکاری بود. عملکرد دانه، عملکرد کاسبرگ، شاخص برداشت دانه، شاخص برداشت کاسبرگ و آنتوسیانین تحت تأثیر اثر آبیاری قـرار گرفتند، به‌طوری‌که با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد، شاخص برداشت دانه و شاخص برداشت کاسبرگ کاهش و میزان آنتوسیانین افزایش یافت. با توجه به این‌که بین عملکرد دانه و کاسبرگ تیمارهای $I_1$ (به‌ترتیب ۶۶۷/۵۴ و ۳۹۲/۷۳ کیلوگرم در هکتار) و $I_2$ اختلاف معنـی‌داری مشـاهده نگردیـد، جهت حصول عملکرد کمّی و کیفی قابل قبول در شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه، آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گـل‌دهی مناسب خواهد بود.

**واژه‌های کلیدی:** آنتوسیانین، تنش خشکی، نشاکاری، ویتامین ث

## مقدمه

چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) گیاهی دارویی متعلق به خانواده پنیرکیان (Malvaceae) که از زمان‌های قدیم بـه‌عنوان دارو استفاده می‌شده و هم‌اکنون نیز به‌عنوان گیاه دارویی مورد توجه اسـت (Aziz, Gad, & Badran, 2007). میوه این گیاه دارای ویتامین ث و کاسبرگ‌ها حاوی گوسیتین، آنتوسیانین، گلوکوزید هیبیسین هستند که اثرات کاهنده ویسکوزیته خون، فشار خون، تحریک‌کننـده روده و ادرارآور دارند (Wong, Yusof, Ghazali, & Man, 2002). مصرف چای ترش سبب جلوگیری از بـروز سـرطان، بهبـود کـارآیی دسـتگاه گـوارش و کـاهش فشـار خـون می‌گـردد (Prasongwatana, Woottisin, Sriboonlue, & Kukongviriyapan, 2008). محتوای کربوهیدراتی دانه‌های چای ترش، ۲۶/۶ درصد می‌باشد. مواد

۱- گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: Khazaie@um.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.71031.1055

مهم دانه‌های این گیاه سدیم، پتاسیم، گوگرد، کلسیم و فسفر است (Nazari Khalaflo, 2018). دانه‌های چای ترش غنی از اسید لینولئیک بوده (Shaheen, El-Nakhlawy, & Al-Shareef, 2012) و حدود ۱۹ درصد آن از روغن تشکیل شده است (Mohamed, Fernandez, Pineda, & Aguilar, 2007).

روند رو به افزایش استفاده از گیاهان دارویی، بدون توسعه روش‌های مناسب کاشت و مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح، پیامدهای نگران‌کننده‌ای نظیر تخریب محیط‌زیست را در پی خواهد داشت (Ebrahimzadeh Abdashti, Galavi, & Ramroudi, 2016)؛ لذا برای تأمین مواد اولیه گیاهی مورد نیاز صنایع داروسازی، توصیه می‌شود که کشت و پرورش گیاهان دارویی به‌طور جدی انجام پذیرد. با این وجود، کمبود رطوبت خاک تهدیدی جدی برای تولید این گیاهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران به‌شمار می‌آید (Yang *et al.*, 2006). یکی از مهم‌ترین راهبردهای پیشنهادشده در این مناطق، بهینه‌سازی مصرف آب به‌وسیله کم‌آبیاری است. در واقع، کم‌آبیاری یک راهبرد بهینه برای تولید محصولات زراعی تحت شرایط کمبود آب همراه با کاهش محصول می‌باشد (Greets & Raes, 2009).

ال بواری و همکاران (EL-Boraie, Gaber, & Abdel-Rahman, 2009) در آزمایشی جهت افزایش راندمان مصرف آب چای ترش گزارش کردند که در تیمارهای آبیاری ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ درصد نیاز آبی، عملکرد کاسبرگ خشک چای ترش به‌ترتیب ۳۷۴/۳، ۲۶۵، ۳۵۴، ۳۸۶ و ۲۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. یزدان‌پناه (Yazdan Panah, 2016) در مطالعه تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد چای ترش نشان داد که بیشترین وزن خشک گل و کاسبرگ با آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد تبخیر و تعرق به‌دست آمد. سنجری میجانی و همکاران (Sanjari Mijani, Sirousmehr, & Fakheri, 2018) در مطالعه‌ای روی گیاه چای ترش نشان دادند که آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک A نسبت به آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک A، میزان عناصر فسفر، پتاسیم، سدیم، آنتوسیانین، کاروتنوئید و پروتئین کاسبرگ را افزایش داد. ایوانز و الحمدانی (Evans & Al-Hamdani, 2015) نشان دادند که تنش خشکی سبب افزایش ترکیبات فنلی در گیاه چای ترش شد. رهباریان و همکاران (Rahbarian, Afsharmanseh, & Modafea Behzadi, 2011) اثر تنش خشکی و تراکم بوته بر چای ترش اظهار داشتند که کم‌آبیاری کاهش معنی‌داری بر عملکرد کاسبرگ داشت، به‌طوری‌که عملکرد کاسبرگ از ۶۱۷/۵ کیلوگرم در تیمار عدم تنش خشکی به ۴۳۰/۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار آبیاری به‌میزان ۲۵ درصد ظرفیت زراعی کاهش یافت.

روش کاشت به‌عنوان یکی از عوامل مدیریتی مؤثر بر میزان آب مصرفی می‌تواند با تأثیر بر نحوه سبزشدن و میزان رشد گیاه زراعی به کاهش مصرف آب و افزایش بازده آب آبیاری همراه با افزایش عملکرد منجر شود (Manzoor Shafi, Sohail, Ali, & Fahad, 2020). نشاکاری یکی از راهبردهای مدیریت آب آبیاری در مزرعه می‌باشد که در نتیجه آن عمل تنک کردن محدود (Tahmasebi & Kordi, 2001)، زودرسی محصول مضاعف، و دوره رشد محصول جلو انداخته می‌شود (Mohamad Zade, Asghary, Farajee, Moradi, & Majidian, 2018). بررسی تأثیر دو روش کاشت مستقیم و نشایی بر ویژگی‌های کمّی و کیفی چای ترش نشان داد که روش کاشت نشایی سبب بهبود اسیدیته کل، فنل کل، ویتامین ث، عملکرد کاسبرگ و کارآیی مصرف آب چای ترش شد (Fallahi, Ghorbany, Aghhavani-Shajari, Samadzadeh, & Asadian, 2017). در مطالعه تأثیر نشاکاری بر عملکرد پنبه (*Gossypium hirsutum*) و کارآیی مصرف آب آبیاری نشان داده شد، در مناطقی که زمان کشت پنبه همزمان با اواخر فصل رشد غلات و نیاز به آب آبیاری در این زمان حداکثر می‌باشد، بهتر است پنبه را در خزانه کشت نموده و سپس انتقال آن به زمین بعد از برداشت غلات صورت گیرد. همچنین اظهار داشتند که در استفاده از روش نشاکاری پنبه، حداقل دو نوبت آبیاری صرفه‌جویی شده و مصرف سموم و وجین نیز به حداقل رسیده و کنترل آفات آسان‌تر می‌گردد (Dehghani, Jafar Aghaei, & Mohammadi Kia, 2014).

با توجه به این‌که خشکی از ویژگی‌های بارز جغرافیایی کشور ایران است، صرفه‌جویی در مصرف آب با کشت گیاهان مقاوم به خشکی می‌تواند به‌عنوان راهکاری برای مقابله با خشکی مطرح گردد (Seghatoleslami, Mosavi, & Barzegaran, 2013). با این وجود، باید توجه داشت که اعمال کم‌آبیاری بدون برنامه‌ریزی دقیق می‌تواند منجر به کاهش عملکرد کمّی و یا حتی کیفی محصول گردد؛ لذا با توجه ارزش دارویی گیاه چای ترش و مقاومت آن به خشکی (Akbarinia, Ghalavand, Sefidcon, Rezaee, & Sharifi, 2004)، هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر رژیم‌های مختلف کم‌آبیاری و روش کشت بر ویژگی‌های کمّی و کیفی گیاه چای ترش بود.

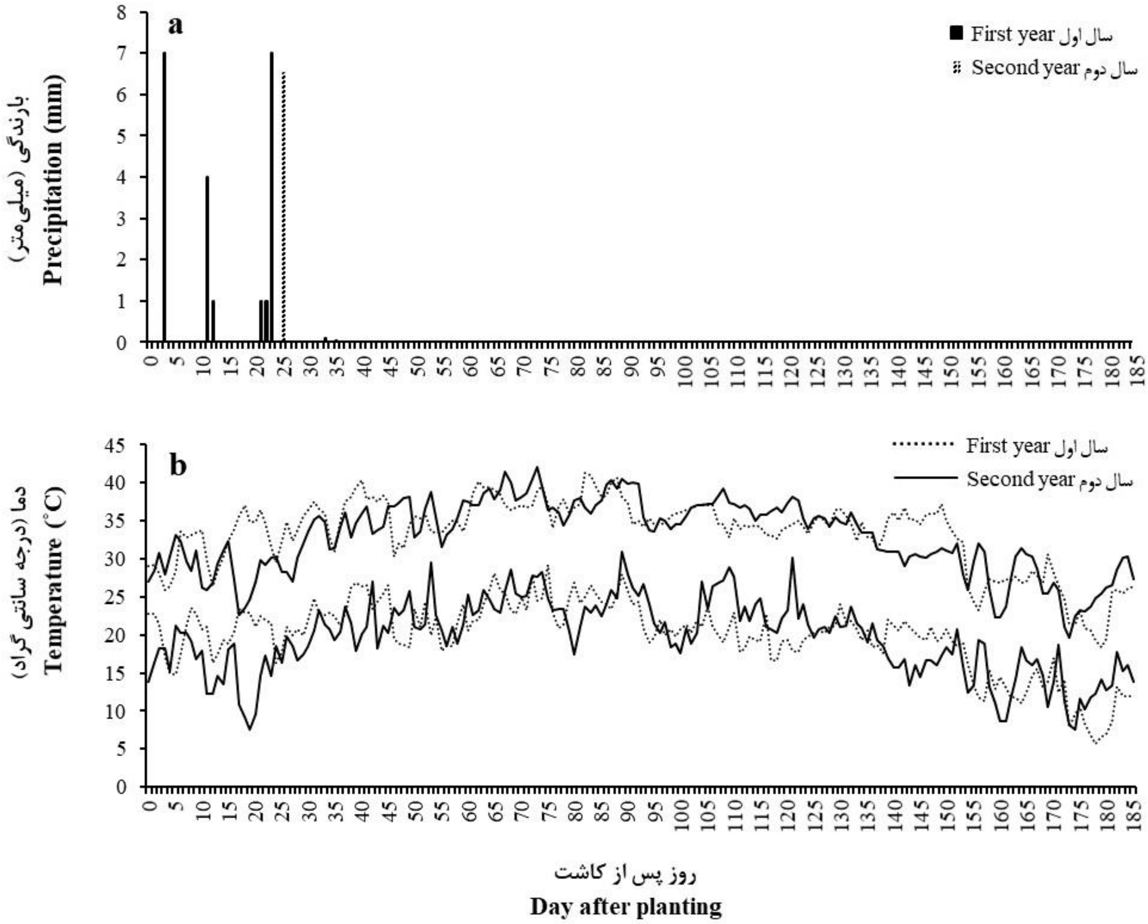
## مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کاشمر، واقع در ۲۳۰ کیلومتری جنوب غرب مشهد با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲۸ درجه شرقی و ارتفاع ۱۰۵۳ متر از سطح دریا در دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ انجام شد. متوسط بارندگی سالانه ۱۷۲/۰۲ میلی‌متر و حداقل و حداکثر دمای مطلق سالانه در این منطقه به‌ترتیب ۱۲/۳۵ و ۲۴/۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که براساس طبقه‌بندی متزگر و همکاران

(Metzger *et al*., 2012) جزء اقلیم گرم و خشک قرار دارد. شرایط آب‌وهوایی محل آزمایش در طول فصل رشد چای ترش (اردیبهشت تا آبان‌ماه) در دو سال مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. میانگین دمای روزانه در طول فصل رشد چای ترش در سال اول و دوم به‌ترتیب در دامنه ۱۲/۵۰ تا ۳۳/۸۰ و ۱۳/۹۵ تا ۳۵/۸۵ درجه سانتی‌گراد قرار داشت. میزان بارندگی نیز در طول دوره رشد چای ترش در سال اول و دوم به‌ترتیب ۲۱/۱۲ و ۶/۵۴ میلی‌متر بود.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری در هفت سطح (۱۰۰ درصد نیاز آبی، ۸۰ درصد نیاز آبی از مرحله هشت برگی تا اواخر گل‌دهی، ۸۰ درصد نیاز آبی از مرحله هشت برگی تا اوایل گل‌دهی، ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی،۶۰ درصد نیاز آبی از مرحله هشت برگی تا اواخر گل‌دهی، ۶۰ درصد نیاز آبی از مرحله هشت برگی تا اوایل گل‌دهی، ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی) و روش کاشت در دو سطح (نشاکاری و کشت مستقیم) بودند.

در روش کشت نشایی، در هر دو سال، بذور در ۲۰ اسفندماه داخل سینی نشاء کشت و در مرحله چهار برگی به زمین منتقل شدند. کشت مستقیم نیز هم‌زمان با انتقال نشاء در ۱۰ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ و ۱۳ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۶ انجام گرفت. در هر کرت، پنج خط کاشت به طول هفت متر و با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم قرار داشت. فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و بین کرت‌ها و بلوک‌ها به‌ترتیب ۱ و ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از انجام آزمایش، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه، نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی انجام و به آزمایشگاه منتقل شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.




**شکل ۱- a) بارندگی و b) دمای حداکثر و حداقل روزانه ایستگاه هواشناسی کاشمر در طول فصل رشد چای ترش طی سال‌های زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶**

**Figure 1- a) Daily precipitation and b) maximum and minimum temperature of Kashmar meteorological station during the growing season in 2016 and 2017**

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی در دو سال آزمایش
Table 1- Physical and chemical particular of research station soil in two experimental year

| سال Year | کلاس بافت خاک Soil texture class | پتاسیم Potassium (%) | فسفر Phosphorus (%) | نیتروژن Nitrogen (%) | ماده آلی Organic matherial (%) | هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC (dS $m^{-1}$) | اسیدیته pH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2016 | لوم‌ـرس ـشن Loam-clay-sand | 2.1 | 0.12 | 0.04 | 0.36 | 2.5 | 7.9 |
| 2017 | لوم Loamy | 2 | 0.11 | 0.04 | 0.39 | 2.4 | 8 |

میزان تبخیر و تعرق به‌روش پنمن مانتیث و با استفاده از آمار روزانه ایستگاه سینوپتیک کاشمر، محاسبه شد. تبخیر و تعرق گیاه از حاصل‌ضرب تبخیر و تعرق پتانسیل در ضریب گیاهی (Kc) به‌دست‌آمده در منطقه موردمطالعه حاصل شد. ازآن‌جاکه ضرایب گیاهی چای ترش در دسترس نمی‌باشد و با توجه به تشابه چای ترش و پنبه از نظر تعلق به خانواده مشترک و همچنین داشتن ویژگی‌های رشدی مشابه، از Kc مربوط به پنبه جهت برآورد تبخیر و تعرق چای ترش استفاده شد. تبخیر و تعرق روزانه گیاه (Td) با در نظر گرفتن درصد سایه‌انداز با استفاده از رابطه (۱) برآورد گردید.

$$Td = ETp \times (0.1 \times Ps \times 0.5) \quad (۱)$$

که در آن، ETp: تبخیر و تعرق گیاه بدون ملاحظه درصد سایه‌انداز و Ps: درصد سایه‌انداز گیاه است. با اعمال ضرایب ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۰۰ و همچنین راندمان آبیاری ۹۰ درصد، میزان نیاز آبی روزانه محاسبه و با توجه به دور آبیاری و نیز مساحت هر کرت، حجم آب آبیاری موردنیاز هر تیمار محاسبه و از طریق تنظیم با کنتور و شیرفلکه در هر بار آبیاری در اختیار گیاه قرار گرفت. آبیاری با استفاده از لوله‌های تیپ با ضخامت جدار لوله ۳۰۰ میکرون، خروجی‌هایی با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و آب‌دهی چهار لیتر در ساعت در واحد متر صورت گرفت. اعمال تیمارهای آبیاری در زمان استقرار کامل گیاهچه‌ها و از مرحله هشت برگی آغاز شد.

با توجه به نتایج تجزیه خاک، جهت تأمین نیاز کودی گیاه، کودهای سوپر فسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، سولفات پتاسیم (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) همزمان با کاشت و کود اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) در سه نوبت زمان کاشت، رشد رویشی و مرحله گل‌دهی مورد استفاده قرار گرفتند.

همچنین از هیچ‌گونه علف‌کش و آفت‌کشی در طول دوره رشد گیاه استفاده نشد و وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی صورت گرفت.

پس از پایان دوره رشد گیاه در اواسط مهر ماه، جهت اندازه‌گیری عملکرد کاسبرگ، عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت از سطحی معادل دو متر با حذف اثر حاشیه‌ای برداشت و بعد از خشک کردن در هوای آزاد و زیر سایه توزین گردید. شاخص برداشت کاسبرگ و دانه از نسبت عملکرد کاسبرگ و دانه به‌ترتیب به عملکرد زیست‌توده کل به‌دست آمد.

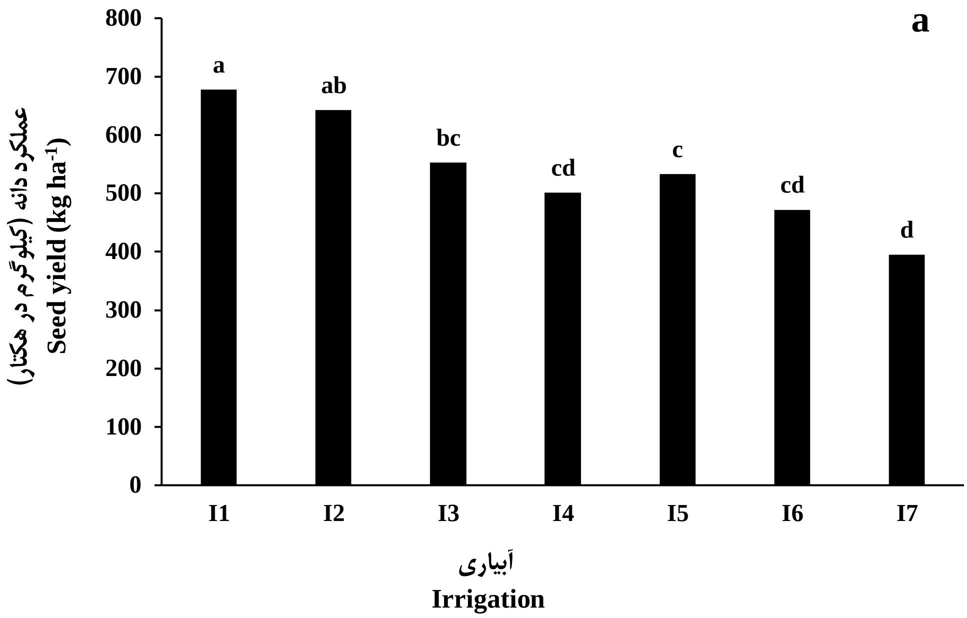
مقدار ویتامین ث کاسبرگ با روش تیتریمتری با ید، پتاسیم یداید و پتاسیم یدات در حضور معرف نشاسته توسط نشاسته انجام شد (Arya, 2000). جهت اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین کاسبرگ از روش وانگر (Wanger, 1979) استفاده شد. برای این منظور، ابتدا ۰/۱ گرم کاسبرگ توزین و به قطعات کوچک تبدیل و در هاون کاملاً خرد شد. جهت استخراج آنتوسیانین‌ها در هر تیمار، ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (۹۹ سی‌سی متانول و یک سی‌سی اسید کلریدریک یک درصد) به آن اضافه شد. سپس نمونه‌ها در فالکون ریخته شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. بعد از آن، به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و در نهایتف میزان آنتوسیانین پس از رقیق‌سازی مناسب با دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج ۵۵۰ نانومتر قرائت شد. سپس با استفاده از ضریب خاموشی وانگر، مقدار آنتوسیانین کل محاسبه شد. برای اندازه‌گیری مقدار کل فنل کاسبرگ، ۱۰۰ میلی‌گرم نمونه گیاهی با ۱۰ میلی‌لیتر حلال (اتانول ۹۶ درصد) عصاره‌گیری، سپس محلول حاصل توسط حلال به نسبت یک به ۱۰۰ رقیق شد. آن‌گاه به ۳۰۰ میکرولیتر عصاره رقیق‌شده، ۱/۲ میلی‌لیتر سدیم کربنات ۷/۵ درصد و ۱/۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیکالتیو ۱۰ درصد اضافه شد. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفته، سپس در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شدند (Al-Farsi, Alsalvar, Morris, Baron, & Shadih, 2005). جهت اندازه‌گیری میزان پروتئین دانه از روش کجلدال (AOCS, 2005) استفاده شد و اندازه‌گیری روغن موجود در دانه‌ها با استفاده از روش سوکسله (Latif & Anwar, 2008) انجام شد.

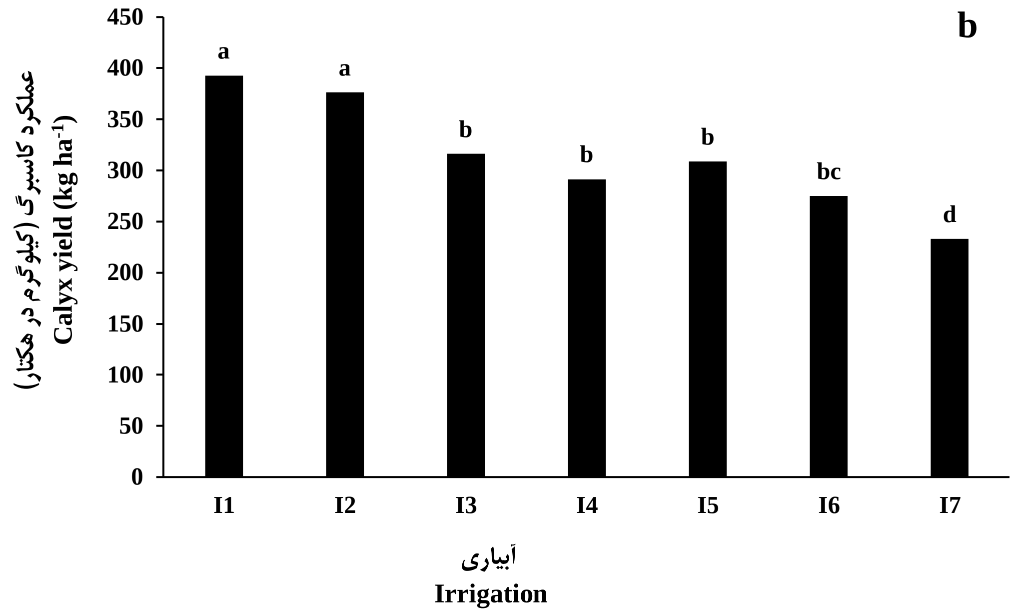
با توجه به این‌که نتایج آزمون بارتلت حاکی از آن بود که در نتایج بین دو سال اختلاف معنی‌دار وجود نداشت، تجزیه مرکب داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ و مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه بر مبنای آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. رسم شکل‌ها نیز با نرم‌افزار SigmaPlot 14 انجام شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر آبیاری و روش کاشت بر ویژگی‌های کمّی چای ترش
**Table 2- Analysis of variance for effects of irrigation and planting method on quantitative traits of roselle**

| منابع تغییر S.O.V | درجه آزادی d.f | میانگین مربعات Mean of squares | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | عملکرد دانه Seed yield | عملکرد کاسبرگ Sepal yield | عملکرد زیست‌توده Biologic yield | شاخص برداشت دانه Seed harvest index | شاخص برداشت کاسبرگ Sepal harvest index |
| سال Year | 1 | 112.68 ns | 478.97 ns | 11270.58 ns | 0.01 ns | 0.01 ns |
| سال× تکرار Year × replication | 4 | 11163.47 | 100.53 | 559409.23 | 0.16 | 0.43 |
| آبیاری Irrigation | 6 | 681161.82** | 37452.68** | 24507129.03** | 1.67* | 0.49* |
| سال × آبیاری Year × irrigation | 6 | 6503.90ns | 318.97ns | 12020.58ns | 0.30ns | 0.18ns |
| خطای a Error a | 24 | 31503.77 | 359.75 | 96017.74 | 0.26 | 0.16 |
| روش کاشت Planting method | 1 | 6444.36ns | 2982.86ns | 92203.44 ns | 1.94 ns | 0.32 ns |
| سال × روش کاشت Year × planting method | 1 | 1066.07ns | 284.21ns | 11270.58ns | 0.22ns | 0.32ns |
| آبیاری × روش کاشت Irrigation × planting method | 6 | 6826.19 | 372.68 ns | 413249.88** | 0.40 ns | 0.47 ns |
| سال × آبیاری × روش کاشت Year × irrigation × planting method | 6 | 6641.07ns | 327.25ns | 12020.58ns | 0.27ns | 0.16ns |
| خطای b Error b | 28 | 1876.82 | 412.16 | 102699.888 | 0.30 | 0.27 |
| ضریب تغییرات C.V (%) | – | 8.0 | 6.5 | 2.9 | 6.5 | 10.3 |

* و **: به‌ترتیب معنی‌داری سطوح احتمال پنج و یک درصد، ns غیر معنی‌دار
* and **: are significant at 5 and 1% probability levels, ns: Non-significant




**شکل ۲- اثر آبیاری بر a) عملکرد دانه و b) کاسبرگ چای ترش**

**Figure 2– Effect of irrigation on a) seed and b) sepal yield of roselle**

$I_1$: آبیاری به‌میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی، $I_2$: آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی، $I_3$: آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گل‌دهی، $I_4$: آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی، $I_5$: آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی، $I_6$: آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گل‌دهی، $I_7$: آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی.

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

$I_1$: 100% crop water requirement (CWR), $I_2$: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_3$: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering $I_4$: 80% CWR from beginning to end of flowering, $I_5$: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_6$: 60% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, $I_7$: 60% CWR from beginning to end of flowering.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

## نتایج و بحث

### عملکرد دانه

عملکرد دانه چای ترش تحت تأثیر آبیاری (p ≤۰/۰۱) قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر آبیاری نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه (۶۶۷/۵۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد که با تیمار آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۲). در تیمار آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی به‌دلیل سازگار شدن گیاه به شرایط ایجادشده، کم‌آبیاری نتوانست باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم تنش گردد. تیمار آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی نیز کمترین عملکرد دانه (۳۹۵/۲۸ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد (شکل ۲–a). به‌طور کلی، می‌توان گفت که میزان تأثیر تنش خشکی بستگی به مرحله نموی دارد و بیشترین کاهش عملکرد زمانی است که تنش خشکی در فاصله گل‌دهی تا پر شدن دانه اتفاق می‌افتد (Skoric, 2009). به نظر می‌رسد که تنش کمبود آب در مرحله دانه‌بندی سبب سقط جنین شده که در نتیجه، باعث کاهش تعداد و وزن آن‌ها و در نهایت، کاهش عملکرد دانه می‌گردد.

### عملکرد کاسبرگ

عملکرد خشک کاسبرگ تنها تحت تأثیر آبیاری (p ≤ ۰/۰۱) قرار گرفت (جدول ۲). با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار (**r = ۰/۹۸) عملکرد دانه با عملکرد کاسبرگ (جدول ۵) روند تغییر کاهش عملکرد کاسبرگ با اعمال تنش خشکی مشابه روند تغییر عملکرد دانه به‌دست آمد، به‌گونه‌ای که بیشترین عملکرد کاسبرگ (۳۹۲/۷۳ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی نداشت و کمترین میزان عملکرد کاسبرگ (۲۳۲/۹۳ کیلوگرم در هکتار) نیز در تیمار آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی حاصل شد (شکل ۲–b). سنجری میجانی و همکاران (Sanjari Mijani *et al*., 2018) نیز با بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد چای ترش نشان داد که بیشترین عملکرد کاسبرگ در تیمار عدم تنش و کمترین میزان آن از تیمار تنش شدید خشکی حاصل شد. کاهش عملکرد گیاه در شرایط خشکی می‌تواند به‌علت کاهش سطح فتوسنتزکننده، کاهش تولید کلروفیل، افزایش انرژی مصرفی گیاه جهت بالا بردن غلظت شیره سلولی و تغییر در مسیرهای تنفسی باشد (Saud *et al*., 2016).

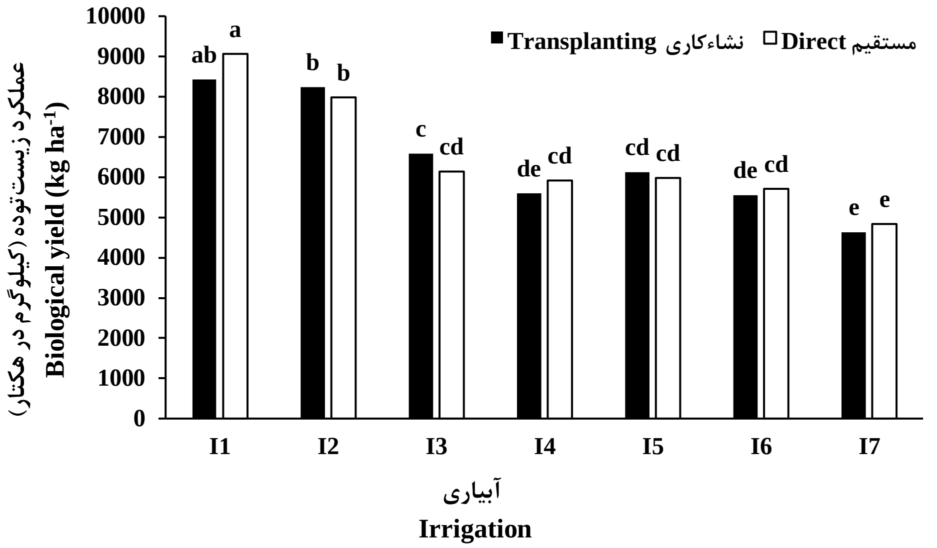
### عملکرد زیست‌توده

عملکرد زیست‌توده تحت تأثیر آبیاری (p ≤۰/۰۱) و اثر متقابل آبیاری و روش کاشت (p ≤۰/۰۱) قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد زیست‌توده از تیمار آبیاری کامل و روش کشت مستقیم (۹۰۶۴/۳۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار آبیاری کامل و روش کاشت نشایی نداشت (شکل ۳) و کمترین عملکرد زیست‌توده (۴۶۳۷/۶۷ کیلوگرم در هکتار) نیز در تیمار آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی و روش کشت نشایی حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی و روش کشت مستقیم نداشت (شکل ۳). در مطالعه یزدان‌پناه (Yazdan Panah, 2016) نیز بیشترین عملکرد زیست‌توده چای ترش با آبیاری در سطح ۶۰ درصد تبخیر و تعرق از گیاه مرجع به‌دست آمد و با افزایش سطح تبخیر و تعرق از گیاه مرجع، عملکرد زیست‌توده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در هیچ‌یک از تیمارهای آبیاری، بین دو روش کاشت از نظر عملکرد زیست‌توده اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳).

### شاخص برداشت دانه و کاسبرگ

شاخص برداشت دانه و کاسبرگ تحت تأثیر آبیاری (p ≤۰/۰۵) قرار گرفتند (جدول ۲). با این وجود، تنها تیمار آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد، به‌طوری‌که کمترین میزان شاخص برداشت دانه (۷/۸۵ درصد) و کاسبرگ (۴/۵ درصد) در این تیمار حاصل شد (شکل ۴). با توجه به وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد زیست‌توده با عملکرد دانه (**r =۰/۹۱) و کاسبرگ (**r =۰/۹۱) (جدول ۵)، همان‌طور که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد کاسبرگ و دانه می‌گردد، عملکرد زیست‌توده نیز کم می‌شود. با این وجود، تنش شدید موجب کاهش بیشتر عملکرد دانه و کاسبرگ نسبت به عملکرد زیست‌توده شده است، چرا که همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده‌شده بین شاخص برداشت دانه و کاسبرگ به‌ترتیب با عملکرد دانه (**r =۰/۷۹) و کاسبرگ (**r =۰/۷۷) بیشتر از عملکرد زیست‌توده (**r =۰/۴۸ برای شاخص برداشت دانه و **r =۰/۴۴ برای شاخص برداشت کاسبرگ) بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد که در بقیه تیمارهای آبیاری، میزان کاهش در عملکرد دانه و کاسبرگ با افزایش تنش خشکی متناسب با کاهش ایجادشده در عملکرد زیست‌توده بوده است که منجر به تفاوت معنی‌دار بین این تیمارها نشده است (شکل ۴). در حالت تنش خشکی شدید، گیاه از طریق افزایش غلظت شیره سلولی از انتقال مؤثر فرآورده‌های فتوسنتزی به مخزن‌هایی نظیر کپسول‌ها ممانعت به عمل می‌آورد. با توجه به میزان عملکرد زیست‌توده در شرایط آبیاری مطلوب و همچنین کم بودن آن

در شرایط تنش کم‌آبی (شکل ۳) می‌توان اذعان داشت که در حالت دوم، گیاه سهم قابل‌توجهی از فرآورده‌های فتوسنتزی خود را صرف ساخت و تشکیل اندام‌های رویشی نموده و تا حدی نسبت به انتقال آن‌ها به مخازن مهم‌تری نظیر کپسول‌ها عاجز است (Sanjari Mijani, 2014).




**شکل ۳- اثر متقابل آبیاری و روش کاشت بر عملکرد زیست‌توده چای ترش**

**Figure 3- Interaction effect between irrigation and planting method on biological yield of roselle**

$I_1$: آبیاری به‌میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی، $I_2$: آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی، $I_3$: آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گل‌دهی، $I_4$: آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی، $I_5$: آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی، $I_6$: آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گل‌دهی، $I_7$: آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی.

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

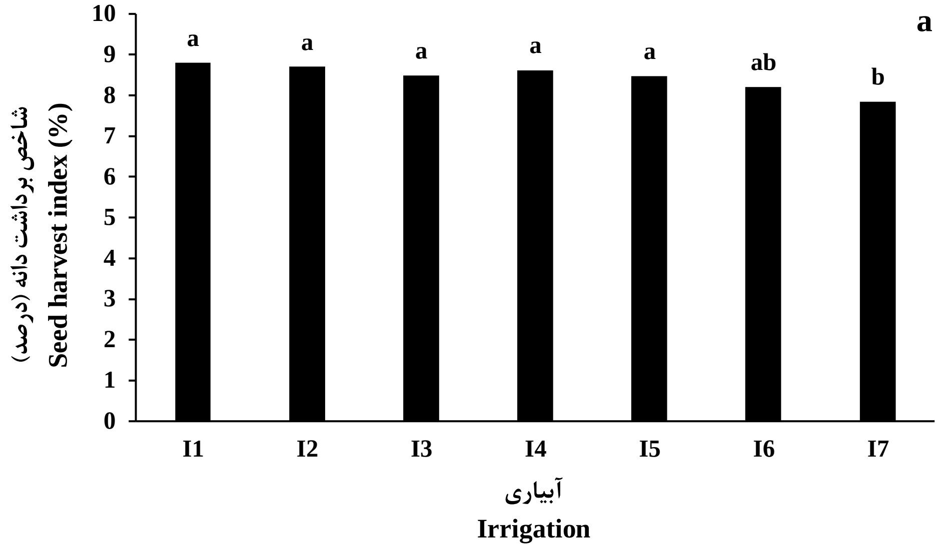
$I_1$: 100% crop water requirement (CWR), $I_2$: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_3$: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering $I_4$: 80% CWR from beginning to end of flowering, $I_5$: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_6$: 60% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, $I_7$: 60% CWR from beginning to end of flowering.

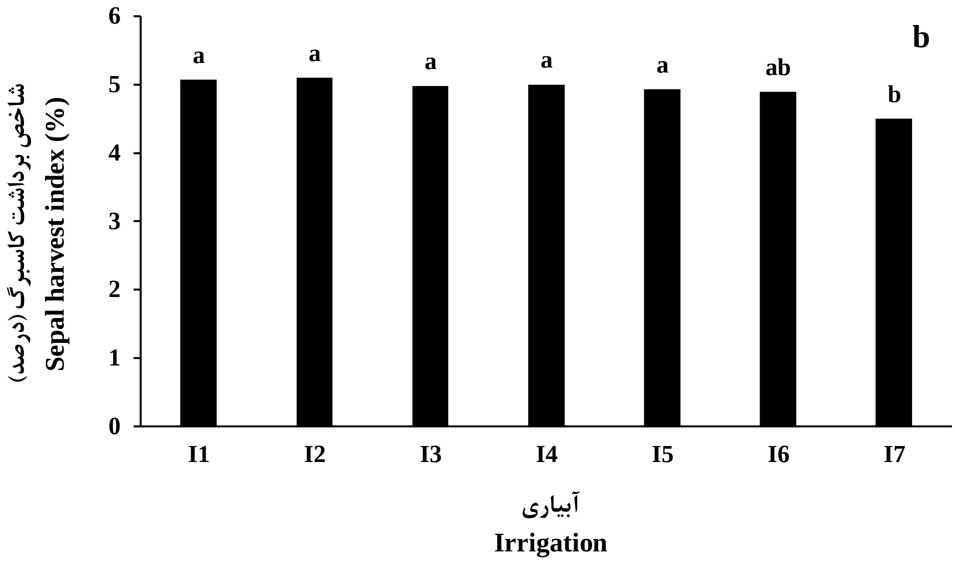
Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

**ویتامین ث**

نتایج نشان داد که اثر متقابل آبیاری و روش کاشت بر ویتامین ث کاسبرگ معنی‌دار (p ≤۰/۰۱) بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان ویتامین ث (۳۲/۳۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) از تیمار آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی و روش کشت مستقیم و کمترین میزان آن (۱۷/۸۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) در شرایط آبیاری کامل و روش نشاکاری حاصل شد (جدول ۴). با این وجود، در مطالعه پارسا مطلق و همکاران (Parsa Motlagh, Moghaddam, Ghorbani, & Sardooei, 2018) ویتامین ث کاسبرگ تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری قرار نگرفت. از جمله تغییرات در گیاهان به‌عنوان پیام‌آور حضور تنش و مقابله با آن، افزایش سطوح آنتی‌اکسیدان مختلف است. ویتامین ث از جمله ترکیبات آنتی‌اکسیدانی است که از تخریب بافت‌ها توسط رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کند و میزان آن در شرایط خشکی در جهت کاهش اثرات مخرب تنش افزایش می‌یابد (Valizadeh Ghalebig, Nemati, Tehranifar, & Emami, 2015). بیشتر بودن میزان ویتامین ث در اعمال تنش از اوایل تا اواخر گل‌دهی نسبت به زمان‌های دیگر حاکی از حساسیت مرحله زایشی به تنش خشکی است. در اکثر تیمارهای آبیاری، نشاکاری سبب کاهش میزان ویتامین ث کاسبرگ گردید، هرچند این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۴). این امر می‌تواند به تفاوت در زمان استقرار گیاه در خاک و همچنین شوک واردشده به گیاه در نتیجه تغییر محیط مربوط باشد. علاوه‌براین، تغییر مراحل فنولوژی گیاه در نتیجه نشاکاری می‌تواند باعث تغییر شرایط محیطی مانند طول روز، رطوبت نسبی و تنش گرمایی در فصل رشد شود که در نهایت، بر ویژگی‌های کمّی و کیفی گیاه مؤثر است (Aghaee Okhchlar, Amirnia, Tajbakhsh, Ghiyasi, & Alizadeh, 2012). با این وجود، فلاحی و همکاران (Fallahi *et al.*, 2017) در مطالعه‌ای روی گیاه چای ترش نشان دادند که

نشاکاری سبب افزایش میزان ویتامین ث کاسبرگ گردید. ویتامین ث کاسبرگ همبستگی منفی و معنی‌داری (r = -۰/۴۳**) با عملکرد کاسبرگ داشت، به‌طوری‌که با افزایش عملکرد کاسبرگ ویتامین ث آن کاهش یافت (جدول ۵).




**شکل ۴- اثر آبیاری بر شاخص برداشت a) دانه و b) کاسبرگ چای ترش**

**Figure 4- Effect of irrigation on a) seed and b) sepal harvest index of roselle**

$I_1$: آبیاری به‌میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی، $I_2$: آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی، $I_3$: آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گل‌دهی، $I_4$: آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی، $I_5$: آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی، $I_6$: آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گل‌دهی، $I_7$: آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی.

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

$I_1$: 100% crop water requirement (CWR), $I_2$: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_3$: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering $I_4$: 80% CWR from beginning to end of flowering, $I_5$: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_6$: 60% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, $I_7$: 60% CWR from beginning to end of flowering.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر آبیاری و روش کاشت بر ویژگی‌های کیفی چای ترش

Table 3- Analysis of variance for effects of irrigation and planting method on qualitative traits of roselle

| منابع تغییر S.O.V | درجه آزادی d.f | میانگین مربعات Mean of squares | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ویتامین ث Vitamin C | آنتوسیانین Anthocyanin | فنل کل Total phenol | پروتئین دانه Seed protein | روغن دانه Seed oil |
| سال Year | 1 | 21.17 ns | 0.0079 ns | 14.92 ns | 9.66 ns | 0.70 ns |
| سال × تکرار Year × replication | 4 | 1.35 | 0.0053 | 41.31 | 9.42 | 0.26 |
| آبیاری Irrigation | 6 | 212.09** | 0.0818** | 811.30** | 144.64** | 33.00** |
| سال × آبیاری Year × irrigation | 6 | 0.00 ns | 0.0006 ns | 0.76 ns | 0.41 ns | 0.30 ns |
| خطای a Error a | 24 | 3.21 | 0.0021 | 1.61 | 0.30 | 0.53 |
| روش کاشت Planting method | 1 | 13.02* | 0.0213 ns | 155.26 ns | 7.07 ns | 2.75 ns |
| سال × روش کاشت Year × planting method | 1 | 0.01 ns | 0.0008 ns | 1.36 ns | 0.11 ns | 0.27 ns |
| آبیاری × روش کاشت Irrigation × planting method | 6 | 2.95** | 0.0022 ns | 26.74** | 2.59** | 2.82** |
| سال × آبیاری × روش کاشت Year × irrigation × planting method | 6 | 0.01 ns | 0.0008 ns | 0.47 ns | 0.25 ns | 0.31 ns |
| خطای b Error b | 28 | 3.03 | 0.0010 | 1.22 | 0.63 | 0.38 |
| ضریب تغییرات C.V (%) | - | 6. 8 | 10.4 | 3.8 | 3.3 | 3. 6 |

* و **: به‌ترتیب معنی‌داری سطوح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیر معنی‌دار

* and **: are significant at 5 and 1% probability levels, ns: Non-significant

همان‌طور که بیان شد، میزان ویتامین ث با افزایش تنش خشکی افزایش و عملکرد کاسبرگ کاهش یافت، این امر موجب گردید که رابطه منفی و معنی‌داری بین ویتامین ث کاسبرگ و عملکرد آن مشاهده گردد. در شرایط تنش، گیاهان مقدار زیادی از مواد فتوسنتزی خود را صرف سنتز آسیمولیت‌هایی نظیر پرولین و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نظیر ویتامین ث و آنتوسیانین می‌کنند که کاهش عملکرد را به دنبال دارد.

## آنتوسیانین

نتایج نشان داد که آنتوسیانین تحت تأثیر آبیاری ($p \leq ۰/۰۱$) قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین میزان آنتوسیانین (۰/۴۵ میکرومول بر گرم) از تیمار آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی و کمترین میزان آن (۰/۲۳ میکرومول بر گرم) در تیمار آبیاری کامل حاصل شد (شکل ۵). سنجری میجانی و همکاران (Sanjari Mijani, Sirousmehr, & Fakheri, 2015) نیز نشان دادند که بیشترین میزان آنتوسیانین در آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر کلاس A و کمترین مقدار نیز در تیمار آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر مشاهده گردید. همچنین پارسا مطلق و همکاران (Parsa Motlagh *et al.*, 2018) اظهار داشتند که بیشترین مقدار آنتوسیانین در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد. آنتوسیانین‌ها رنگدانه‌های محلول در آب و متعلق به خانواده فلاونوئیدها هستند که به‌عنوان گیرنده‌های رادیکال‌های آزاد عمل می‌کنند. این رنگدانه‌ها در شرایط تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی و درجه حرارت پایین افزایش یافته و گیاه را در برابر رادیکال‌های آزاد و تنش اکسیداتیو محافظت می‌کنند (Tahkokorpi, 2010). این افزایش به‌علت نقش حفاظت نوری آنتوسیانین به‌وسیله حذف مستقیم گونه‌های فعال اکسیژن در طول تنش اکسیداتیو می‌باشد (Zhang *et al.*, 2010). تصور بر این است که در شرایط تنش خشکی، تولید مواد مؤثره به‌دلیل جلوگیری از اکسیداسیدن درون سلولی افزایش می‌یابد (Omid Beygi & Mahmoudi Sourestani, 2000). روند تغییرات مشاهده‌شده در میزان آنتوسیانین کاسبرگ (شکل ۵) دقیقاً عکس روند تغییرات عملکرد کاسبرگ (شکل ۲) بود. همبستگی منفی و معنی‌دار بین میزان آنتوسیانین کاسبرگ با عملکرد آن (**r= -۰/۸۸) مؤید این امر می‌باشد (جدول ۵).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و روش کاشت بر ویژگی‌های کیفی چای ترش

**Table 4- Mean comparison for interaction effect between irrigation and planting method on qualitative traits of roselle**

| تیمار Treatment | | ویتامین ث Vitamin C (mg 100 $ml^{-1}$) | فنل کل Total phenol (mg g dry $weight^{-1}$) | پروتئین دانه Seed protein (%) | روغن دانه Seed oil (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| I1 | Transplanting نشاکاری | 17.83 g | 18.01 f | 20.68 fg | 21.25 a |
| | Direct مستقیم | 19.60 fg | 19.33 ef | 20.13 g | 18.85 b |
| I2 | Transplanting نشاکاری | 25.68 cde | 20.42 ef | 22.38 efg | 18.25 bc |
| | Direct مستقیم | 26.10 cde | 21.93 e | 22.70 def | 18.08 bc |
| I3 | Transplanting نشاکاری | 28.01 abcd | 27.24 d | 24.09 cde | 17.42 bcd |
| | Direct مستقیم | 29.27 abc | 28.05 d | 23.94 cde | 17.05 cd |
| I4 | Transplanting نشاکاری | 31.59 ab | 35.11 b | 26.07 bc | 17.12 cd |
| | Direct مستقیم | 32.35 a | 34.99 b | 26.00 bc | 16.69 cd |
| I5 | Transplanting نشاکاری | 23.96 def | 19.93 ef | 20.63 fg | 17.75 bcd |
| | Direct مستقیم | 22.72 efg | 28.33 d | 21.72 fg | 18.39 bc |
| I6 | Transplanting نشاکاری | 23.57 def | 32.14 c | 24.72 bcd | 16.07 de |
| | Direct مستقیم | 24.73 cde | 37.23 b | 26.63 b | 16.22 de |
| I7 | Transplanting نشاکاری | 26.18 cde | 39.97 a | 29.82 a | 14.81 e |
| | Direct مستقیم | 27.57 bcde | 41.96 a | 31.32 a | 14.85 e |

$I_1$: آبیاری به‌میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی، $I_2$: آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی، $I_3$: آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گل‌دهی، $I_4$: آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی، $I_5$: آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی، $I_6$: آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گل‌دهی، $I_7$: آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی.

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

$I_1$: 100% crop water requirement (CWR), $I_2$: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_3$: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering $I_4$: 80% CWR from beginning to end of flowering, $I_5$: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_6$: 60% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, $I_7$: 60% CWR from beginning to end of flowering.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

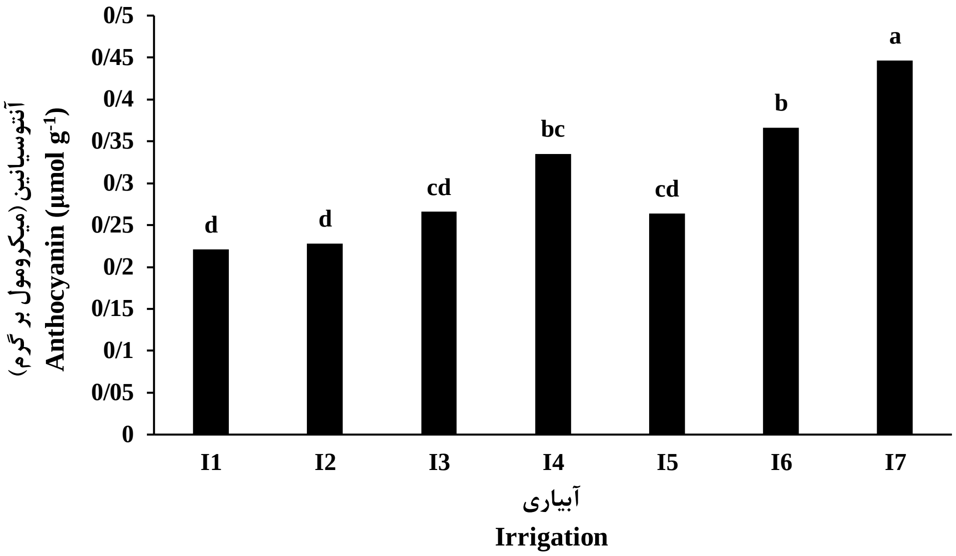
جدول ۵- ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های مورد مطالعه

Table 5- Correlation coefficients between studied traits

| | عملکرد دانه Seed yield | عملکرد کاسبرگ Sepal yield | عملکرد زیست‌توده Biological yield | شاخص برداشت دانه Seed harvest index | شاخص برداشت کاسبرگ Sepal harvest index | ویتامین ث Vitamin C | آنتوسیانین Anthocyanin | فنل کل Total phenol | پروتئین دانه Seed protein | روغن دانه Seed oil |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عملکرد دانه Seed yield | 1 | | | | | | | | | |
| عملکرد کاسبرگ Sepal yield | 0.983** | 1 | | | | | | | | |
| عملکرد زیست توده Biological yield | 0.910** | 0.912** | 1 | | | | | | | |
| شاخص برداشت دانه Seed harvest index | 0.794** | 0.754** | 0.478** | 1 | | | | | | |
| شاخص برداشت کاسبرگ Sepal harvest index | 0.730** | 0.769** | 0.444** | 0.903** | 1 | | | | | |
| ویتامین ث Vitamin C | -0.410** | -0.427** | -0.482** | -0.145 | -0.168 | 1 | | | | |
| آنتوسیانین Anthocyanin | -0.891** | -0.882** | -0.770** | -0.788** | -0.747** | 0.317** | 1 | | | |
| فنل کل Total phenol | -0.857** | -0.868** | -0.861** | -0.598** | -0.592** | 0.535** | 0.863** | 1 | | |
| پروتئین دانه Seed protein | -0.781** | -0.794** | -0.753** | -0.616** | -0.622** | 0.518** | 0.829** | 0.916** | 1 | |
| روغن دانه Seed oil | 0.891** | 0.885** | 0.786** | 0.747** | 0.712** | -0.511** | -0.808** | -0.795** | -0.787** | 1 |

* و **: به‌ترتیب معنی‌داری سطوح احتمال پنج و یک درصد

* and **: are significant at 5 and 1% probability levels




**شکل ۵- اثر آبیاری بر میزان آنتوسیانین چای ترش**

**Figure 5- Effect of irrigation on Anthocyanin of roselle**

$I_1$: آبیاری به‌میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی، $I_2$: آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی، $I_3$: آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گل‌دهی، $I_4$: آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی، $I_5$: آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی، $I_6$: آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گل‌دهی، $I_7$: آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی.

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

$I_1$: 100% crop water requirement (CWR), $I_2$: 80% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_3$: 80% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering $I_4$: 80% CWR from beginning to end of flowering, $I_5$: 60% CWR from 8-leaf stage to end of flowering, $I_6$: 60% CWR from 8-leaf stage to beginning of flowering, $I_7$: 60% CWR from beginning to end of flowering.

Means followed by similar letter(S) are not significantly different at 5% probability level using Tukey's Studentized Range (HSD) Test.

**فنل کل**

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل آبیاری با روش کاشت بر فنل کل کاسبرگ معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۱$) بود (جدول ۳). به‌طوری‌که بیشترین میزان ترکیبات فنلی (۴۱/۹۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) از تیمار آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی و روش کشت مستقیم و کمترین میزان (۱۸/۰۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) از تیمار آبیاری کامل و روش کشت نشایی حاصل شد (جدول ۴). افزایش میزان فنل کل گیاه دارویی با افزایش شدت تنش در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است ( Zare Mehrjerdi, Bagheri, Bahrami, Nabati, & Massomi, 2012; Pidavos & Heidari, 2013; Sayyadi, Ahmadi, & Khalvati, 2009). در اکثر سطوح آبیاری، نشاکاری سبب کاهش میزان فنل کل کاسبرگ گردید، با این وجود تنها در سطح آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی و آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا ابتدای گل‌دهی، این کاهش معنی‌دار بود (جدول ۴). بااین‌حال، فلاحی و همکاران (Fallahi *et al.*, 2017) بیان داشتند که روش کشت نشایی سبب افزایش معنی‌دار فنل کل کاسبرگ گیاه چای ترش گردید. تفاوت مشاهده‌شده بین دو روش کاشت در این مطالعه می‌تواند به‌دلیل تفاوت در روابط آب بین گیاه و خاک و همچنین تفاوت در زمان وقوع مراحل فنولوژی گیاه باشد.

Asghari, & Hosseini, 2014). کاهش محتوای آب در بافت‌های گیاهان در شرایط تنش خشکی موجب تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی در آن‌ها می‌گردد (Good & Zaplachiniski, 1994). بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه علاوه‌بر تأثیرپذیری از ژنتیک گیاه، با توجه به شرایط محیطی تغییر می‌یابد، به‌طوری‌که شرایط تنش جهت جلوگیری از اکسیداسیون سلولی سبب افزایش بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه می‌گردد ( Aliabadi-Farahani, Valadabadi, Daneshian,

**پروتئین دانه**

پروتئین دانه تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری با روش کاشت ($p \leq ۰/۰۱$) قرار گرفت (جدول ۳)، به‌طوری‌که بیشترین میزان پروتئین دانه (۳۱/۳۲ درصد) از تیمار آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی و روش کشت مستقیم و کمترین میزان آن (۲۰/۱۳ درصد) از تیمار آبیاری کامل و روش کشت مستقیم حاصل شد (جدول ۴). افزایش تنش خشکی تا ۸۰ درصد نیاز آبی از اوایل تا اواخر

گل‌دهی در هر دو روش کاشت سبب افـزایش میـزان پـروتئین دانـه گردید و بعد از آن کاهش یافته و در سطح آبیاری به‌میزان ۶۰ درصـد نیاز آبی از اوایل تا اواخر گل‌دهی مجـدد افـزایش یافـت (جـدول ۴). رئیسی (Raeisi, 2009) نیز نشان داد کـه بـا افـزایش شـدت تـنش خشکی تا حد تنش متوسط، درصد پروتئین دانه چای ترش افـزایش و پس از ان کاهش یافت. تغییر در میزان پروتئین گیاه در شرایط تـنش خشکی به نوع گونـه گیـاهی و نـوع بافـت بسـتگی دارد. بااین‌حـال، میرشـکاری و همکـاران (Mirshekari, Einali, & Valizadeh, 2017) نیز افزایش معنی‌دار غلظت پروتئین‌های برگ گیاه چای ترش را در پتانسیل‌های اسمزی منفی‌تر از ۰/۱- مگاپاسکال در مقایسـه بـا شاهد گزارش نمودند. ازآن‌جایی‌که شرایط محیطی نامسـاعد می‌توانـد بیان پروتئین‌هایی را موسوم به پروتئین‌های تنش القاء کند کـه نقـش آن‌ها محافظت از سلول‌ها در برابر تنش‌های محیطـی اسـت (Bray, 1993)، افزایش غلظت پروتئین دانه با افزایش تنش می‌تواند به بیـان برخی از پروتئین‌ها در شرایط تنش خشـکی نسـبت داده شـود. نتـایج نشان داد که روش کشت نشایی نتوانسـت تـأثیر معنـی‌دار بـر میـزان پروتئین دانه در سطوح آبیاری داشته باشد (جدول ۴).

### روغن دانه

اثر متقابل آبیاری و روش کاشت بر روغن دانه معنـی‌دار ($p \leq 0/01$) بود (جدول ۳). بیشترین میزان روغن دانه (۲۱/۲۵ درصد) در تیمار آبیاری کامل و روش کشت نشایی و کمترین میزان (۱۴/۸۵ درصد) از تیمار آبیاری به‌میزان ۶۰ درصد نیاز آبی از اوایل تـا اواخـر گـل‌دهی و روش کشت نشایی حاصل شد (جدول ۴). نشـاکاری تنهـا در شـرایط آبیاری کامل توانست سبب افزایش معنی‌دار میزان روغن دانـه گـردد، در صورتی‌که در سطوح دیگر آبیـاری بـین دو روش کشـت اخـتلاف معنی‌داری مشـاهده نشـد (جـدول ۴). اینـانلو و همکـاران (Inanlo, Omidi, & Pazoki, 2013) در مطالعـه‌ای روی گیـاه خرفـه (*Portula caoleracea* L.) و پارسـا مطلـق و همکـاران (Parsa Motlagh *et al*., 2018) در مطالعه‌ای روی گیاه چای ترش، کاهش درصد روغن را با افزایش تنش خشکی گزارش نمودند. تنش خشـکی باعث بسته شدن روزنـه‌ها، کـاهش میـزان فتوسـنتز، کـاهش تولیـد کربوهیدرات شده و با کاهش طول دوره رشـد، فرصـت کـافی بـرای سنتز روغن وجود نداشته و در نتیجه، میزان روغن دانه کاهش می‌یابد. این میزان کاهش زمانی‌که تنش خشکی در دوره گل‌دهی گیاه اتفـاق بیفتد، بیشتر خواهد بود (Kalantar Ahmadi & Dezfouli, 2019). روغن دانه همبستگی منفی و معنی‌داری با ویتامین ث ($r= -0/51^{**}$)، آنتوسیانین ($r= -0/81^{**}$) و فنل کـل ($r= -0/79^{**}$) و پـروتئین دانـه ($r= -0/79^{**}$) داشت.

## نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که آبیاری کمتر از نیاز آبی ایـن گیـاه سبب تأثیر منفی بر عملکرد زیست‌توده، دانه و کاسبرگ چای تـرش و بهبود ویتامین ث، آنتوسیانین و فنل کل کاسبرگ و پـروتئین دانـه در هر دو روش کاشت گردید. میزان این تأثیر با توجه به مرحلـه رشـدی گیاه متفاوت بود، با این وجود اختلاف معنـی‌داری در عملکـرد دانـه و کاسبرگ به‌دست‌آمده در تیمار آبیـاری کامـل و آبیـاری بـه‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشـت برگـی تـا اواخـر گـل‌دهی وجـود نداشـت و بیشترین تأثیر در زمان اعمال کم‌آبیاری در مرحله حساس رشدی گیاه یعنی اوایل تا اواخر گل‌دهی مشاهده شد. همچنین نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن بود که روش کشت نشایی نتوانست سبب بهبـود معنی‌دار ویژگی‌های مورد مطالعه در سطوح مختلف آبیاری نسـبت بـه روش کشت مستقیم شود. با توجه بـه شـرایط اقلیمـی منطقـه مـورد مطالعه، به نظر می‌رسد که آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی از هشت برگی تا اواخر گل‌دهی چای ترش راهکار مناسب جهت دسـتیابی بـه عملکرد کمّی و کیفی قابل قبول و حفظ منابع آبی باشد.

## References


1. Aghaee Okhchlar, R., Amirnia, R., Tajbakhsh, M., Ghiyasi, M., & Alizadeh, M. B. (2012). The effect of sowing date and sowing method on quantity characteristics and essential oil content on Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, *3*(2), 353-361.
2. Akbarinia, A., Ghalavand, A., Sefidcon, F., Rezaee, M. B., & Sharifi, A. (2004). Study on the effect of different rates of chemical fertilizer, manure and mixure of them on seed yield and main, compositions of essential oil of Ajowan (*Trachyspermum copticum*). *Agronomy and Horticulture*, *61*, 32-41. (in Persian with English abstract).
3. Al-Farsi, M., Alsalvar, C., Morris, A., Baron, M., & Shadih, F. (2005). Comparison of antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids and phenolics of three native fresh and sun-dried date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Oman. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, *53*, 7592-7599. https://doi.org/10.1021/jf050579q
4. Aliabadi-Farahani, H., Valadabadi, S. A., Daneshian, J., & Khalvati, M. A. (2009). Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. *Journal of Medicinal Plant Research*, *3*, 329-333.
5. AOCS (American Oil Chemist's Society). (2005). Official methods and recommended practices of the American oil chemist's Society, 5th Ed, Ba 6-84. The American Oil Chemist's Society Champaign.

6. Arya, S. P. N. (2000). Spectrophotometric methods for the determination of vitamin C. *Analytica Chimica Acta, 417*, 1-14. https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)00909-0
7. Aziz, E. E., Gad, N., & Badran, M. N. (2007). Effect of cobalt and nickel on plant growth, yield and flavonoids content of *Hibiscus sabdariffa* L. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *1*(2), 73-78.
8. Bray, E. A. (1993). Molecular responses to water deficit. *Plant Physiology, 103*, 1035-1040. https://doi.org/10.1104/pp.103.4.1035
9. Dehghani, M., Jafar Aghaei, M., & Mohammadi Kia, S. (2014). Effect of cotton transplanting on its yield and water use efficiency. *Journal of Water Research in Agriculture, 28*(2), 307-314. (in Persian with English abstract).
10. Ebrahimzadeh Abdashti, R., Galavi, M., & Ramroudi, M. (2016). Effect of organic and chemical fertilizers on some quantitative traitsand anthocyanin of roselle under Zabol conditions. *Journal of Horticultural Science*, *30*(2), 169-177. (in Persian with English abstract).
11. EL-Boraie, F. M., Gaber, A. M., & Abdel-Rahman, G. (2009). Optimizing irrigation schedule to maximize water use efficiency of *Hibiscus sabdariffa* under Shalatieon condition. *Word Journal of Agricultural Science*, *5*(4), 505-514.
12. Evans, D., & Al-Hamdani, S. (2015). Selected physiological responses of resellet (*Hibiscus sabdariffa*) to drought stress. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, *3*(6), 500-507. https://doi.org/10.18006/2015.3(6).500.507
13. Fallahi, H. R., Ghorbany, M., Aghhavani-Shajari, M., Samadzadeh, A., & Asadian, A. H. (2017). Qualitative response of roselle to planting methods, humic acid application, mycorrhizal inoculation and irrigation management. *Journal of Crop Improvement*, *31*(2), 192-208. https://doi.org/10.1080/15427528.2016.1269378
14. Good, A. G., & Zaplachiniski, S. T. (1994). The effects of drought on free amino acid accumulation and protein syntesis in *Brassica napus*. *Physiologia Plantarum, 90*(1), 9-14. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1994.tb02185.x
15. Greets, S., & Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry area. *Agricultural Water Management*, *96*, 1275-1284. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.009
16. Inanlo, M., Omidi, H., & Pazoki, A. (2013). The agronomic changes and oil content of purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress and bio-fertilizer/ nitrogen chemical. *Journal of Medicinal Plants, 48*, 170-184.
17. Kalantar Ahmadi, S. A., & Shoushi Dezfouli, A. A. (2019). Effects of foliar application of micronutrients on seed yield and oil quality of canola (*Brassica napus* L. cv. Hyola401) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences, 21*(3), 237-253. (in Persian with English abstract).
18. Latif, S., & Anwar, F. (2008). Quality assessment of *Moringa concanensis* seed oil extracted through solvent and aqueous enzymatic techniques. *Grasas Aceites, 59*, 67-73. https://doi.org/10.3989/gya.2008.v59.i1.493
19. Metzger, M. J., Bunce, R. G., Jongman, R. H., Sayre, R., Trabucco, A., & Zomer, R. (2012). A high-resolution bioclimate map of the world: A unifying framework for global biodiversity research and monitoring. *Global Ecology and Biogeography*, *22*(5), 630-638. https://doi.org/10.1111/geb.12022
20. Mirshekari, M., Einali, A., & Valizadeh, J. (2017). Physiological and biochemical response of *Hibiscus sabdariffa* to drought stress in the presence of salicylic acid. *Iranian Journal of Plant Biology*, *32*, 20-38. (in Persian with English abstract).
21. Mohamad Zade, H., Asghary, J., Farajee, H., Moradi, A., & Majidian, M. (2018). Effect of planting date and method on ear yield, water use efficiency and some phenological characteristics of sweet corn in Yasouj. *Cereal Research*, *8*(3), 371-385. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22124/c.2018.8910.1358
22. Mohamed, R., Fernandez, J., Pineda, M., & Aguilar, M. (2007). Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) seed oil is a rich source of γ-tocopherol. *Journal of Food Science*, *72*(3), S207-S211. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00285.x
23. Nazari Khalaflo, N. (2018). Effect of light and potassium intensity, on growth and same physiological characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). M.Sc. Thesis, Shahed University, Tehran. Iran. p. 73.(in Persian with English abstract).
24. Omid Beygi, R., & Mahmoudi Sourestani, M. (2010). Effect of water stress on morphological traits, essential oil content and yield of anise hyssop (Agastache foeniculum [pursh] Kuntze). *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, *41*(2), 153-161. (in Persian with English abstract).
25. Parsa Motlagh, B. P., Moghaddam, R., Ghorbani, R., & Sardooei, Z. A. (2018). Phytochemical characteristics of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under different fertilizer systems and irrigation water. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *33*(6), 928-939. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2018.108446.1896
26. Wong, P., Yusof, S., Ghazali, H. M., & Man, Y. B. (2002). Physico-chemical characteristics of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Nutrition and Food Sciences*, *32*, 68-73. https://doi.org/10.1108/00346650210416994
27. Pidavos, Z., & Heidari, R. (2013). The effect of drought stress on activity antioxidant and total phenol on *Echium amoenum* Mey & Fisch. Second National Conference on Climate Change and Its Impact on Agriculture and the Environment, West Azerbaijan Province Research Center for Agriculture and Natural Resources, Urmia, Iran. (in

Persian).
28. Prasongwatana, V., Woottisin, S., Sriboonlue, P., & Kukongviriyapan, V. (2008). Uricosuric effect of roselle (*Hibiscus sabdariffa*) in normal and renal-stone former subject. *Journal of Ethnopharmacology, 117*, 491-495. https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.02.036
29. Raeisi, M. (2009). Investigating the effects of different levels of animal manure and drought stress on the quantitative and qualitative yield of Roselle in Jiroft .M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. p. 69. (in Persian with English abstract).
30. Rahbarian, P., Afsharmanseh, G., & Modafea Behzadi, N. (2011). Effect of drought stress as water deficit and planting density on yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa*) in Jiroft region. *New Finds in Agriculture, 5*(3), 249-257. (in Persian with English abstract).
31. Sanjari Mijani, M., Sirousmehr, A. R., & Fakheri, B. (2015). The effects of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of roselle. *Journal of Crop Improvement, 17*(2), 403-414. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2015.55189
32. Sanjari Mijani, M., Sirousmehr, A. R., & Fakheri, B. (2018). The effects of drought stress and humic acid on morphological traits, yield and anthocyanin of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Agroecology, 8*(3), 346-358. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v8i3.35508
33. Sanjari Mijani, M. (2014). The effects of drought stress and humic acid on qualitative and quantitative characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. p. 78. (in Persian with English abstract).
34. Saud, S., Chen, Y., Fahad, S., Hussain, S., Na, L., Xin, L., & Al hussien, S. A. A. F. E. (2016). Silicate application increases the photosynthesis and its associated metabolic activities in Kentucky bluegrass under drought stress and post- drought recovery. *Environmental Science and Pollution Research*, *23*, 17647-17655. https://doi.org/10.1007/s11356-016-6957-x
35. Sayyadi, A., Ahmadi, J., Asghari, B., & Hosseini, S. B. (2014). The effects of drought and salinity stress on the phenolic compounds thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Eco-Phytochemical Journal of Medicinal Plants*, *2*(4), 50-61.
36. Seghatoleslami, M. J., Mosavi, S. G., & Barzegaran, T. (2013). Effect of irrigation levels and planting date on yield and water use efficiency of *Hibiscus sabdariffa* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *29*(1), 144-156. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2013.2896
37. Shaheen, M. A., El-Nakhlawy, F. S., & Al-Shareef, A. R. (2012). Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds as unconventional nutritional source. *African Journal of Biotechnology, 11*(41), 9821-9824. https://doi.org/10.5897/AJB11.4040
38. Manzoor Shafi, M., Sohail, A., Ali, S., & Fahad, S. (2020). Effect of planting methods and deficit irrigation on yield and yield components of maize. *Russian Agricultural Sciences, 46*, 56-64. https://doi.org/10.3103/S1068367420010103
39. Skoric, D. (2009). Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. *Helia, 32*, 1-15. https://doi.org/10.3103/S1068367420010103
40. Tahkokorpi, M. (2010). Anthocyanins under drought and drought related stresses in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). Academic Dissertation to be Presented with the Assent of the Faculty of Science of the University of Oulu, 46 p.
41. Tahmasebi, S. Z., & Kordi, M. (2001). *Evaluation of cotton transplanting in saline soils*. 10th Australian Agronomy Conference, Australian Society of Agronomy, Hobart, Australia.
42. Valizadeh Ghalebig, A., Nemati, S. H., Tehranifar, A., & Emami, H. (2015). Effects of A200 superabsorbent, bentonite and water stress on physiological traits and vitamin C of lettuce under greenhouse cultivation. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, *6*(1), 157-168. (in Persian with English abstract).
43. Wanger, G. J. (1979). Content and vacuole/ extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin's in protoplast. *Plant Physiology, 64*, 88-93. https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88
44. Yang, Y., Watanabe, M., Zhang, X., Zhang, J., Wang, Q., & Hayashi, S. (2006). Optimizing irrigation management for wheat to reduce groundwater depletion in the piedmont region of the *Taihang mountains* in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, *82*, 25-44. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.020
45. Yazdan Panah, M. R. (2016). The effect of different levels of irrigation, sowing date and fertilizer management on yield and yield components of hibiscus (*Hibiscus sabdariffa* L.) under Minab conditions. Ph.D. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. p. 84. (in Persian with English abstract).
46. Zare Mehrjerdi, M., Bagheri, A., Bahrami, A., Nabati, J., & Massomi, A. (2012). Effect of drought stress on photosynthetic characteristics, phenolic compounds and radical scavenging activities in different chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in hydroponic conditions. *Journal of Science and Technology Greenhouse Culture, 12,* 56-76. ( in Persian with English abstract).
47. Zhang, K. M., Yu, H. J., Shi, K., Zhou, Y. H., Yu, J. Q., & Xia, X. J. (2010). Photoprotective roles of anthocyanins in *Begonia semperflorens*. *Plant Science, 179*(3), 202-208. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.05.006